

Diagnóstico das principais pressões humanas e boas práticas de gestão aplicadas aos ecossistemas de água doce: visão geral e perspectivas para as bacias na Região do Minho, Portugal

Diagnosis of the main human pressures and best management practices applied to freshwater ecosystems: overview and perspectives for basins in the Minho Region, Portugal

Ana M. Valente^{1,2,3}, Cláudia Carvalho-Santos^{1,2,3}, Janeide Assis de Padilha^{1,2,3}, Luis Machado^{1,2,3}, Fernanda Cássio^{1,2,3}, Cláudia Pascoal^{1,2,3}

¹ Centro de Biologia Molecular e Ambiental (CBMA), Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal

² Instituto para a Ciência, Inovação e Bio-Sustentabilidade (IB-S), Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal

³ ARNET - Rede de Pesquisa Aquática, Laboratório Associado

RESUMO: Os ecossistemas de água doce estão entre os mais ameaçados, e são necessárias medidas que visem a sua proteção e preservação. Em Portugal, as ameaças associadas às massas de água são diversas, destacando-se a poluição, a fragmentação de habitats e a presença de espécies invasoras como as principais preocupações atuais. A região do Minho alberga espécies importantes do ponto de vista ecológico e económico, e a caracterização das ameaças, juntamente com a sugestão de boas práticas de gestão é essencial, principalmente tendo em conta a necessidade de adaptação às alterações climáticas. A poluição das massas de águas, potenciada por estruturas de tratamento de águas ineficazes ou inadequadas, juntamente com a crescente poluição por microplásticos, e outros contaminantes emergentes, ameaça os ecossistemas de água doce desta região, o que torna urgente a existência de legislação para regular este tipo de poluição. No entanto, é a agricultura e a pecuária que se assumem como uma das principais causas de poluição da água, pelo que a implementação de medidas para minimizar o impacto do setor agro-pecuário torna-se prioritária, como as faixas de vegetação de proteção dos cursos de água, ou o uso de fertilizantes orgânicos. Além disso, a existência de barreiras hidrológicas constitui uma ameaça à conectividade dos habitats, o que é especialmente preocupante para espécies migradoras, que partilham o ciclo de vida entre os ecossistemas de água doce e de água salgada, como é o caso dos peixes diádromos (e.g. sável, lampreia, enguia-europeia). É essencial a efetiva aplicação de medidas que possam mitigar os impactos provocados por estas barreiras, salvaguardando a necessidade da produção de energia hidroelétrica e o abastecimento das populações. As espécies invasoras representam também uma grave ameaça aos ecossistemas e às espécies nativas, pelo que a sua gestão deve considerar a sua abundância, as tendências populacionais, as interações inter-específicas e a necessidade de conter a sua expansão. O desenvolvimento da investigação científica na região do Minho é a pedra basilar que permitirá implementar boas práticas de gestão, juntamente com um trabalho de proximidade com os atores locais e com os cidadãos, com o objetivo de proteger os valores naturais da região do Minho, da biodiversidade e dos ecossistemas.

Palavras-chave: barreiras hidrológicas; Cávado; espécies invasoras; Lima; Minho; poluição da água

ABSTRACT: *The maintenance and conservation of freshwater ecosystems is of utmost importance due to their endangered status worldwide. In Portugal, water bodies face several challenges that need urgent attention by the scientific community. Foremost among these concerns are pollution, habitat fragmentation, and invasive species, which together pose threats to aquatic ecosystems. The Minho region holds significant ecological and economic value, necessitating a comprehensive understanding and proactive response to the threats it faces, particularly in light of the influence of climate change. Notably, water pollution, stemming from inadequate water treatment plants and the increasing presence of microplastics, and other emerging contaminants poses a severe risk to freshwater ecosystems in the region. This urgency needs legislation to regulate this type of pollution. To safeguard these ecosystems effectively, it is crucial to prioritize measures targeting the agricultural and livestock sectors, as they contribute significantly to water pollution, such as riparian buffer strips or the use of organic fertilizers. Moreover, the presence of hydrological barriers in the Minho region (mainly for hydropower production) also threatens the connectivity between habitats, particularly for migratory species (e.g. shad, lamprey or eel), which rely on both freshwater and saltwater ecosystems during their life cycle. It is essential to manage these barriers effectively while ensuring the production of hydroelectric energy and water supply. Additionally, invasive species pose a serious threat to native species and ecosystems, underscoring the urgency of considering their presence, population trends, interactions and the need to control their expansion in the managing efforts. The foundation for achieving the best management practices lies in scientific research conducted in the Minho region, working in close cooperation with stakeholders and local communities to protect its biodiversity, ecosystems, and the inherent value of this natural capital.*

Keywords: *Cávado; hydrological barriers; invasive species; Lima; Minho; water pollution.*

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas de água doce são especialmente vulneráveis às alterações climáticas e às pressões humanas, tais como o desenvolvimento agrícola e industrial, o que pode comprometer o uso sustentável e multi-funcional dos rios (Acuña-Alonso et al., 2023). Estes ecossistemas estão entre os mais ameaçados do mundo (Maceda-Veiga, 2012), e o número de espécies em perigo (na IUCN red list) mais do que triplicou entre 2003 e 2009, de cerca de 2000 espécies para mais de 6000 (Vié et al., 2009), sendo acompanhado por um grande declínio na biodiversidade à escala mundial (MA, 2005; Albert et al., 2021). O declínio da biodiversidade nos ecossistemas de água doce é especialmente alarmante em Portugal, com uma evidente ligação a pressões antropogénicas (Fernandes et al., 2018), mas também ao aumento do número de espécies invasoras (Anastácio et al., 2019).

Também as alterações nos padrões hidrodinâmicos do sistema fluvial (e.g., a construção de açudes e barragens) podem desencadear um desequilíbrio dos ecossistemas de água doce (Iglesias et al., 2019). Estas estruturas têm um notório impacto na distribuição, densidade e/ou atividade de algumas espécies nativas (Azeiteiro et al., 2021), especialmente quando consideramos os peixes diádromos, como o sável (*Alosa alosa*), a lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*), ou a enguia-europeia (*Anguilla anguilla*), com grande relevância ecológica e económica em Portugal, particularmente na região minhota. A procura de soluções que possam minimizar estes impactos, protegendo o ecossistema, e simultaneamente garantido a produção de energia hidroelétrica, essencial para

o desenvolvimento económico do país e da região do Minho (contribuindo com mais de 36% da produção hidroelétrica nacional – EDP, 2021), a rega e o abastecimento das populações, constitui um dos grandes desafios para os investigadores, para os atores locais e para os decisores políticos.

A intensificação da pressão humana, especialmente através da agricultura e da pecuária também constituem uma ameaça à qualidade da água (EEA, 2018), resultando no excesso de nutrientes e pesticidas (Maceda-Veiga, 2012), cuja concentração aumenta nos cursos de água (APA, 2022a; APA, 2022b). Assim, é imprescindível implementar medidas para reduzir o problema de contaminação da água e manter a produção agrícola local essencial para o desenvolvimento regional, assegurando também rendimentos à agricultura de menor escala. Por outro lado, algumas estações de tratamento de águas residuais (ETARs) estão sub-dimensionadas (APA, 2022a; APA, 2022b), para dar resposta a uma urbanização e industrialização crescentes, o que contribui também para a poluição das massas de água. Em Portugal, e na região do Minho, enfrentam-se desafios significativos relacionados com a qualidade da água e com a degradação dos ecossistemas de água doce (Azeiteiro et al., 2021). Este estudo tem como objetivo destacar alguns dos problemas destas bacias hidrográficas, nomeadamente a poluição da água, as barreiras hidrológicas e as espécies invasoras com foco nas bacias dos Rios Minho, Lima e Cávado. Serão apresentadas sugestões de “boas práticas de gestão”, para prevenir ou mitigar as ameaças à biodiversidade, aos habitats e aos ecossistemas identificadas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A região do Minho, está localizada no Noroeste de Portugal e abrange as bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima e Cávado (Figura 1). Este estudo incide sobre as bacias hidrográficas destes três rios, correspondendo à Região Hidrográfica 1 (RH1 Minho e Lima) e parte da Região Hidrográfica 2 (RH2 Cávado, Ave e Leça), auxiliado por informações presentes nos Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas 1 e 2 (PGRH), disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA 2022a, APA 2022b). Climaticamente, a região situa-se na zona atlântica, caracterizando-se por temperaturas amenas e invernos chuvosos. Os estuários destes rios fazem parte da Rede Natura 2000, classificados como Sítios de Importância Comunitária (SIC). O estuário do rio Cávado está integrado no Parque Natural do Litoral Norte, e os estuários dos rios Minho e do Lima são considerados Zonas Especiais de Conservação (ZEC). A maioria destas bacias, a montante, integra o Parque Nacional Peneda-Gerês. A bacia hidrográfica do Rio Minho tem cerca de 17080 km², e o seu troço principal tem cerca de 300 km. O Rio Minho atravessa o limite setentrional de Portugal e tem a sua nascente na serra de São Mamede (Espanha), fluindo para Caminha e constituindo a fronteira entre os dois países. Este rio não tem nenhuma barragem em Portugal, mas é afetado pelas barragens existentes no troço espanhol, principalmente a jusante pela barragem da Friera (APA, 2022a). A bacia hidrográfica do Rio

Lima tem cerca de 2470 km² e o seu canal principal tem cerca de 108 km. Este rio tem a sua nascente na serra de Meira (Espanha), fluindo para Viana do Castelo até alcançar o Oceano Atlântico. Esta bacia possui três barragens no troço português do rio (APA, 2022a). O estado global das massas de água destes dois rios é geralmente superior à média nacional, no entanto a poluição por nutrientes (derivados da agricultura e pecuária), continua a apresentar-se como o fator de maior impacto nas águas superficiais, contribuindo com cerca de 29% dos impactos totais (APA, 2022a). A bacia hidrográfica do Rio Cávado tem cerca de 1589 km² e o seu rio principal tem cerca de 129 km. Este rio tem a sua nascente na serra do Larouco, fluindo para Esposende. Ao longo da sua extensão este rio tem seis barragens (APA, 2022b). O Rio Cávado flui por zonas particularmente industrializadas e pode ser afetado por efluentes industriais e domésticos.

3. POLUIÇÃO DA ÁGUA

A qualidade da água do rio Minho é consistentemente avaliada como “boa” (Cairrão *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2014a; Caetano *et al.*, 2016). No entanto, alguns estudos abriram a discussão sobre este tópico, com a descoberta de enriquecimento por metais, encontrado neste estuário (Reis *et al.*, 2014b), nomeadamente cobre (Cu), com origem antropogénica. Os afluentes do Minho apresentam regularmente sinais de contaminação, particularmente o Rio Louro (Santos *et al.*, 2013),

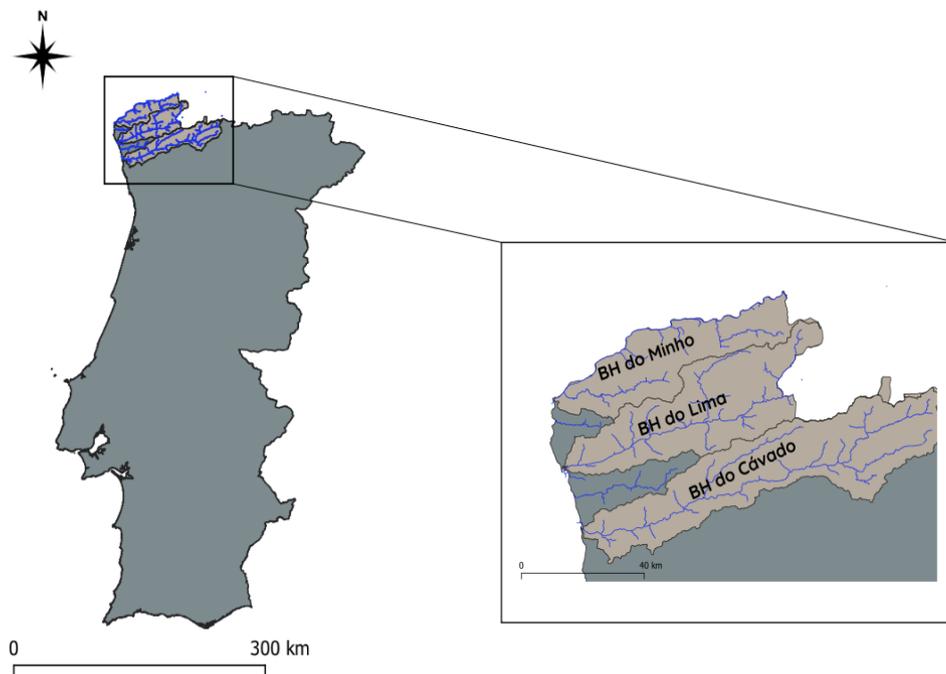


Figura 1. Localização da área de estudo em Portugal continental – Bacia Hidrográfica (BH) do rio Minho, BH do rio Lima e BH do rio Cávado com os principais rios e afluentes a azul.

e eventualmente alguns afluentes com origem em Espanha (Filgueiras *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2013). De facto, alguns troços presentes na RH1 não cumprem os objetivos específicos de classificação de zona protegida definidos e regulados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2022a), de acordo com a Diretiva Quadro de Água (DQA) da União Europeia (Diretiva 2000/60/CE), nomeadamente no que diz respeito à proteção de espécies economicamente relevantes.

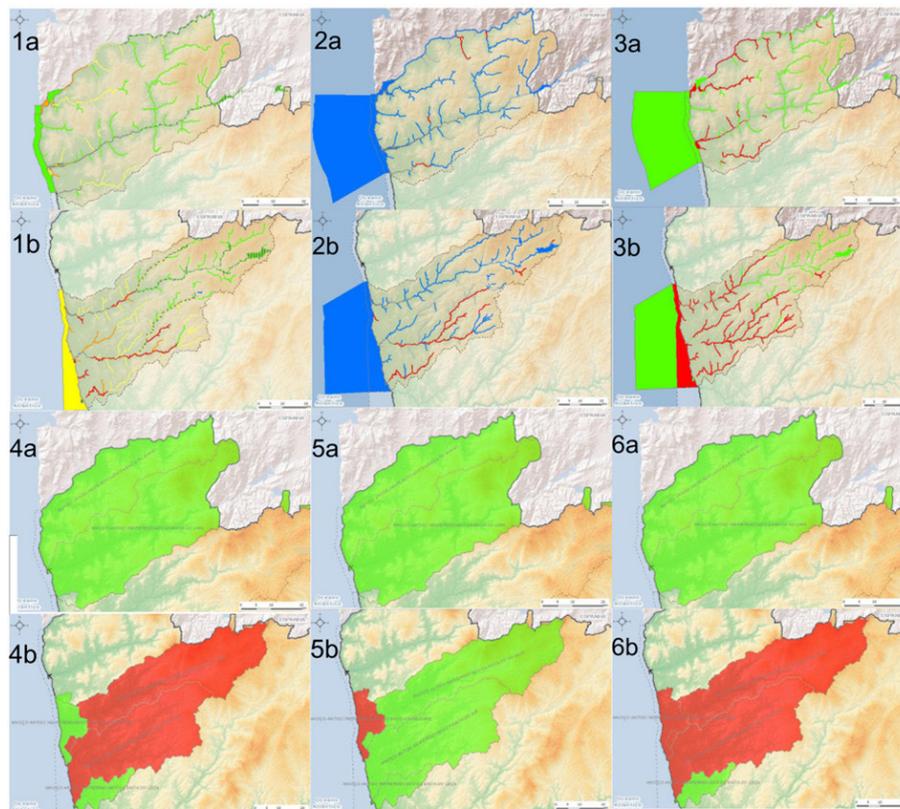
O Rio Lima apresenta, num dos seus troços superiores, níveis de nitratos acima da média (Caetano *et al.*, 2016), que podem colocar em causa a qualidade da água. As características físico-químicas da água podem ameaçar a saúde de alguns peixes, como é o caso da enguia-europeia, espécie de elevada importância económica, e cujo declínio pode ser provocado pela contaminação das massas de água, como se verificou no Rio Lima (Gravato *et al.*, 2010), em contraste com o rio de referência – o Rio Minho.

Globalmente, o estado químico das águas superficiais desta RH é satisfatório, apresentando no entanto 6% da área com classificação insuficiente. Do ponto de vista ecológico, constatamos que 3% da área apresenta uma classificação medíocre. É também de destacar os impactos que as espécies exóticas e as alterações hidromorfológicas têm ao nível das águas superficiais nesta região hidrográfica contribuindo com 17% e 25% dos motivos pelos quais não é possível atingir o bom estado destas águas. As águas subterrâneas nesta RH apresentam integralmente um bom estado quantitativo e químico (WISE). A figura 2 apresenta espacialmente esta informação.

Alguns estudos identificam sinais de contaminação no Rio Cávado (Reis *et al.*, 2014a; Caetano *et al.*, 2016), nomeadamente elevadas concentrações de amónia e de fosfatos (Caetano *et al.*, 2016). Apesar disso, algumas ações concretas têm contribuído para a melhoria da qualidade da água neste rio, nomeadamente a desativação da ETAR de Amares (APA, 2022b). Ainda assim, continua a existir uma clara deterioração na qualidade da água junto a agregados populacionais (e.g. no município de Braga) (Oliveira *et al.*, 2021). O Plano de Gestão da Região Hidrográfica 2 (PGRH2 – Cávado, Ave e Leça) identifica dois troços do Rio Cávado a jusante da barragem da Caniçada que não cumprem os objetivos específicos de classificação de zona protegida definidos pela APA, afetando a qualidade de zonas de captação de água para consumo humano (APA, 2022b). Globalmente, o estado químico das águas superficiais desta RH (que inclui duas bacias que não são alvo deste estudo)

é globalmente insatisfatório, com 97% da área a não atingir um bom estado químico (WISE), sendo o níquel o elemento que mais contribui para a poluição nesta área. Do ponto de vista ecológico, constatamos que 17% da área apresenta uma má classificação. É também de destacar que a poluição difusa e a poluição pontual contribuem em 99% para não ser possível atingir o bom estado ecológico. Adicionalmente, 6% da área das águas subterrâneas têm estado químico insatisfatório, no entanto, o seu estado quantitativo (WISE) é integralmente satisfatório.

Há medidas urgentes a tomar, principalmente no que diz respeito aos rios Lima e Cávado, sendo imperiosa a concretização de intervenções que possam aumentar a capacidade de tratamento das águas residuais, seja através da capacitação e melhoria das estruturas existentes, seja através da construção de novos equipamentos que possam acompanhar o desenvolvimento urbano e industrial destas regiões. A monitorização e fiscalização feita pela APA, para além de cumprir o seu papel de controlo de qualidade das massas de água, tem de ser acompanhada pela concretização de medidas concretas (já inscritas no programa de medidas dos PGRH, e outras que se tornem necessárias) para melhorar o estado ecológico da água. O Plano de Gestão da Região Hidrográfica 1 (PGRH1 - Minho e Lima) prevê a ampliação ou melhoria de duas ETARs e a construção de oito ETARs na bacia do Rio Minho, bem como a ampliação ou melhoria de duas ETARs e a construção de uma ETAR na bacia do Rio Lima até 2027 (APA, 2022a). No que diz respeito ao Rio Lima, poderá ser necessário um levantamento mais exaustivo das necessidades reais de construção ou ampliação de ETARs, considerando os indicadores de qualidade de água presentes neste rio e o impacto económico e social que a poluição da água provoca, nomeadamente através da diminuição das populações de espécies ecológica e economicamente importantes, como é o caso da enguia (Gravato *et al.*, 2010). No que diz respeito ao Rio Cávado, o PGRH2 (APA, 2022b) prevê a ampliação ou a melhoria de oito ETARs e a construção de quatro ETARs até 2027. Apesar dos esforços de modernização, há algumas preocupações, que continuam sem resposta, como é o caso da poluição das massas de água por microplásticos no Rio Minho (Guilhermino *et al.*, 2021), e outros contaminantes emergentes (nanomateriais e fármacos). Para responder ao crescente problema dos contaminantes emergentes, as ETARs deveriam possuir os meios necessários para proceder à sua remoção, apesar dos custos poderem ser, para já, bastante elevados.



LEGENDA: 1a) a 3b)

ESTADO/POTENCIAL ECOLÓGICO:

Massas de Água Rios	Massas de Água Lagos (Albufeiras)	Massas de Água Costeiras	Massas de Água de Transição
Potencial Ecológico	Potencial Ecológico	Estado Ecológico	Estado Ecológico
Exceente	Bom e superior	Razoável	Bom
Bom			Razoável
Razoável			Mediocre
Mediocre			Potencial Ecológico
Mau			Bom e superior
Potencial Ecológico			Razoável
Bom e superior			Mau
Razoável			

ESTADO QUÍMICO:

Massas de Água Rios	Massas de Água Lagos (Albufeiras)	Massas de Água de Transição	Massas de Água Costeiras
Bom	Bom	Bom	Bom
Insuficiente	Desconhecido		Águas Territoriais
Desconhecido			Bom

ESTADO GLOBAL:

Massas de Água Rios	Massas de Água Lagos (Albufeiras)	Massas de Água de Transição	Massas de Água Costeiras
Bom e superior	Bom e superior	Bom e superior	Inferior a bom
Inferior a bom		Inferior a bom	Águas de Territoriais
			Bom e superior

LEGENDA: 4a) a 6b)

Massas de Água Subterrânea - Estado Quantitativo

Massas de Água Subterrânea - Estado Químico

Massas de Água Subterrânea - Estado Global

Bom	Mediocre
-----	----------

Figura 2. Caracterização do estado ecológico/potencial ecológico, químico, quantitativo e global das massas de água na área de estudo. Estado/potencial ecológico das massas de água superficiais na RH1 1a) e RH2 1b); estado químico das massas de água superficiais na RH1 2a) e RH2 2b); estado global das massas de água superficiais na RH1 3a) e RH2 3 b); estado quantitativo das massas de água subterrâneas na RH1 4a) e RH2 4b); estado químico das massas de água subterrâneas na RH1 5a) e RH2 5b); estado global das massas de água subterrâneas na RH1 6a) e RH2 6b)– adaptado de APA, 2002a e APA, 2002b.

Será necessária mais investigação nesta área, não só para que a tecnologia necessária à concretização desta medida seja acessível, mas também no sentido de estabelecer limites de toxicidade a partir dos quais a presença destes elementos constitui um risco para os ecossistemas e para a saúde humana. Além destas medidas, é também essencial que se proceda ao alargamento da rede de abastecimento de água e de saneamento, que atualmente apresenta ainda insuficiências na cobertura. Na RH1, que inclui os rios Minho e Lima, em 2018 a acessibilidade ao serviço de abastecimento de água encontrava-se nos 92% da população, com uma ligação efetiva ao serviço de 76%, enquanto que no que diz respeito ao saneamento existia uma acessibilidade de 60% da população e uma ligação efetiva ao serviço de 48%. Na RH2, que inclui o Rio Cávado, a acessibilidade ao serviço de abastecimento de água encontrava-se nos 96% da população em 2018, com uma ligação efetiva de 80%, enquanto que no que diz respeito ao saneamento existia uma acessibilidade de 85% e uma ligação efetiva ao serviço de 73%. Estes valores são particularmente alarmantes, sendo que o alargamento da rede de distribuição de água e saneamento deverá constituir uma prioridade, por constituir uma ameaça aos ecossistemas de água doce e também por constituir um desígnio social. É também urgente definir, monitorizar e propor novas práticas para a agricultura e pecuária, que possam minimizar o seu impacto nos ecossistemas de água doce. Só na região hidrográfica dos rios Minho e Lima, a agricultura é responsável por uma carga de aproximadamente 901317 kg/ano de nitratos e de 56375 kg/ano de fósforo (APA, 2022a), enquanto nas bacias hidrográficas do Cávado, Ave e Leça, os valores rondam os 1267167 kg/ano de nitratos e 103703 kg/ano de fósforo (APA, 2022b). Os valores são preocupantes e exigem um conjunto de medidas tais como a incorporação de fertilizantes no solo de forma faseada; a redução da mobilização do solo, e a aplicação de faixas de vegetação para proteção dos cursos de água e que deverá ter em conta o declive da parcela agrícola (Ramião *et al.*, 2022a), bem como o apoio aos pequenos e médios agricultores para que possam concretizar as medidas propostas. Além disto, é necessária a fiscalização do cumprimento do previsto na lei, através da “Diretiva Nitratos” (Diretiva 91/676/CEE), e da sua futura atualização, que prevê o limite máximo de 25 mg/l de nitratos em águas tratadas e lançadas para a Natureza pelas ETARs. Também a indústria tem um impacto direto na qualidade das massas de água na região do Minho (Mil-Homens *et al.*, 2013), principalmente no que diz respeito às descargas esporádicas, motivadas

por falta de resposta de tratamento de águas. Nos rios Minho e Lima recaem preocupações sobre o impacto da indústria do papel (APA, 2022a), enquanto que na zona do rio Cávado, predomina a indústria alimentar e vitivinícola, bem como a indústria extrativa (APA, 2022b). A necessária vigilância e defesa destas massas de águas torna urgente o regresso da carreira dos *guarda-rios*, que possam assegurar a fiscalização e proteção dos rios. Recentemente, o município de Guimarães implementou o regresso dos *guarda-rios*, para a fiscalização do Rio Ave e do Rio Selho, através da empresa municipal Vitrus, iniciativa que deveria ser replicada pelo restante território nacional.

As alterações climáticas terão também um papel destacado no que diz respeito à gestão da água. Nos próximos anos, é esperado um agravamento das assimetrias espaciais e sazonais em Portugal, no que diz respeito ao risco de cheia e à qualidade da água (Nunes *et al.*, 2018), acompanhado por um declínio generalizado na disponibilidade de água (Carvalho-Santos *et al.*, 2016). Isso leva-nos ao capítulo seguinte, que versará sobre as barreiras hidrológicas.

4. BARREIRAS HIDROLÓGICAS

Ao longo das últimas décadas (principalmente a partir dos anos 50), têm sido implementadas várias estruturas de controlo dos caudais e de produção de energia hidroelétrica na zona Noroeste de Portugal, como é o caso das barragens da Caniçada, Alto Lindoso, Rabagão, entre outras (e2p, 2023). A produção de energia hidroelétrica é de grande importância pois contribui para a diminuição do consumo e produção de combustíveis fósseis e consequente redução da emissão de gases com efeito de estufa (Berga, 2016). Além disso, constitui a forma de produção de energia mais eficaz do ponto de vista do armazenamento (Fairley, 2015), o que é essencial para a gestão dos recursos renováveis. As barragens do Cávado-Lima têm um papel relevante na produção de energia verde, representando hoje cerca de 36,7% da produção nacional de energia hidroelétrica (EDP, 2021). No entanto, as alterações climáticas alterarão os padrões hidrológicos e terão um impacto na produção hidroelétrica, sendo que um estudo efetuado nas barragens do Cávado (Ramião *et al.*, 2022b) estimou que o armazenamento de água nas albufeiras seja reduzido em cerca de 55% a 90% a médio (2071) e longo prazo (2100), respetivamente. Esta redução originará uma redução entre 79 GWh/ano e 272 GWh/ano, o que é equivalente a menos 11% e 38% do potencial de energia turbinada, na cascata de barragens da bacia

do Cávado quando comparado com o histórico (1975-2005). Estes dados realçam a necessidade de serem tomadas medidas no sentido de adaptação às alterações climáticas, nomeadamente com a eventual alteração nas funções das albufeiras, de modo a responder ao perigo de cheias, de seca, mas também à necessidade de produção de energia, estando já projetados meios para recolocação de água turbinada na barragem à noite através de energia produzida em torres eólicas.

Na bacia hidrográfica do Minho e Lima, 85,6% da água disponível nas albufeiras é direcionada para o uso hidroelétrico (APA, 2022a), enquanto que este valor sobe para 98,5% no caso do Cávado (APA, 2022b). Apesar das evidentes vantagens, as barragens constituem uma barreira ao fluxo hidrológico dos rios, induzido a redução de sedimentos disponíveis através da sua retenção nas albufeiras e através da alteração do regime hidrológico (Taveira-Pinto *et al.*, 2011). Além disso, as barragens constituem uma barreira física para peixes, especialmente para as espécies diádromas, cujo ciclo de vida é partilhado entre ecossistemas de água doce e salgada, implicando a necessidade da conectividade de habitats (Braga *et al.*, 2022). Vários estudos confirmam o declínio das populações de várias espécies de peixes, após a construção de barragens (Azeiteiro *et al.*, 2021). De facto, estima-se que houve um declínio de cerca de 90% das populações de sável, depois da construção das barragens no Rio Minho (Baglinière *et al.*, 2003; Azeiteiro *et al.*, 2021; Braga *et al.*, 2022). Estes dados são especialmente preocupantes, considerando não só a importância ecológica das espécies, mas também o seu potencial económico e o impacto que a sua progressiva redução terá no desenvolvimento económico da região do Minho.

No entanto, as consequências não são semelhantes para todas as espécies – *e.g.* os dados de captura da lampreia-marinha no Rio Minho não indicam qualquer quebra relacionada com a construção destas estruturas, o que pode estar relacionado com o uso dos afluentes como habitats reprodutivos (Azeiteiro *et al.*, 2021), tal como tinha sido comprovado noutras bacias portuguesas, como é o caso do Rio Mondego (Almeida *et al.*, 2002) ou do Rio Vouga (Andrade *et al.*, 2007).

A existência de outras estruturas, como barragens obsoletas ou açudes, constituem um problema que potencia a fragmentação de habitats e a continuidade do sistema fluvial, criando obstáculos aos processos geomorfológicos e biológicos. Existe um levantamento ao nível nacional de todas as estruturas que, apesar de já não cumprirem a sua função original, continuam a exercer um impacto

no ecossistema (Ministério do Ambiente, 2016). Este levantamento identificou cerca de sete mil obstáculos, no entanto, a remoção dessas estruturas ocorre de forma esporádica. Em Portugal, há já projetos a efetuar estas tarefas, nomeadamente no Rio Vascão, entre o Alentejo e o Algarve, com a destruição de uma passagem rodoviária de múltiplos canais (DRE, 2023), e na bacia do Rio Vouga, com a destruição de seis açudes obsoletos (LIFE ÁGUEDA, 2018). A remoção dos obstáculos com o necessário restauro ecológico e fluvial representará uma melhoria na qualidade da água, a recuperação do sistema natural e da conectividade horizontal (Magilligan *et al.*, 2016), bem como a redistribuição de sedimentos (Konrad, 2009), e o eventual aumento na densidade de espécies nativas economicamente relevantes (Birnie-Gauvin *et al.*, 2017). No entanto, estes processos têm que ser cuidadosamente planeados e monitorizados (Cortes *et al.*, 2019), para garantir que custos e benefícios são considerados (*e.g.* no Norte de Itália, provou-se que eram as barreiras hidrológicas que limitavam a expansão das espécies exóticas existentes - Gavioli *et al.*, 2017). É essencial envolver as populações locais nas decisões a tomar, e informá-las dos processos em curso, bem como das vantagens e desvantagens de cada decisão a médio e a longo prazo.

É também fundamental que sejam inventariadas as barragens que, não possuindo passagens para peixes, possuem as condições necessárias para a sua colocação, efetivando a sua concretização. A monitorização destas passagens apresenta-se como uma ferramenta útil, para obter dados fidedignos acerca das tendências populacionais de espécies economicamente relevantes.

5. ESPÉCIES INVASORAS

Os ecossistemas de água doce são especialmente vulneráveis a espécies invasoras, que exercem um impacto negativo nas espécies nativas, alterando os padrões ecológicos (Sala *et al.*, 2000). Nos ecossistemas de água doce em Portugal o seu impacto é evidente, tendo sido registadas até agora 67 espécies invasoras no que diz respeito à fauna (Anastácio *et al.*, 2019 – podendo 18 destas ser encontradas no Rio Minho – Sousa *et al.*, 2008a), e 667 espécies de flora (De Almeida *et al.*, 2012).

Nas bacias do Minho e do Lima há espécies invasoras especialmente preocupantes, como é o caso da amêijoia-asiática (*Corbicula fluminea*) (Sousa *et al.*, 2006; 2008b). É no estuário do Minho que a situação é mais alarmante e onde os valores de abundância, biomassa e produção

secundária desta espécie invasora atingem os níveis mais elevados (Sousa et al., 2008b), afetando outras espécies deste estuário, como é o caso do *Corophium multisetosum* (Sampaio et al., 2014). A amêijoia-asiática já atingiu também a bacia do Rio Cávado (Sousa, comunicação pessoal). Esta espécie pode ocasionalmente servir de presa ao lagostim-vermelho (*Procambarus clarkii*) (Pereira et al., 2016), outra espécie invasora preocupante, que se encontra estabelecida nas três bacias hidrográficas em estudo (Moreira, 2011). Este lagostim invasor é uma espécie omnívora e oportunista, provocando diversos impactos nas regiões em que se insere e nas espécies nativas presentes (Sousa et al., 2013). A sua expansão poderá estar a contribuir para o aumento das populações de um mamífero invasor, o visão-americano (*Neogale vison*), do qual é presa e cujas populações se estendem desde o Minho até ao Douro (Rodrigues et al., 2015). O visão-americano pode ter impactos negativos em espécies nativas, como é o caso do toirão (*Mustela putorius*) (Rodrigues et al., 2015), espécie considerada “em Perigo” (Santos-Reis et al., 2023), com a qual compete por território e alimento.

Relativamente à flora invasora, há várias espécies que constituem uma preocupação, como é o caso da Elódea-densa (*Egeria densa*) ou do Jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*), cuja propagação foi potenciada pelos seus atributos ornamentais, tendo o seu potencial de dispersão tornado estas duas espécies em ameaças ecológicas e socio-económicas, potenciadas pela concentração de nutrientes em caudais baixos (IPVC & BIOPOLIS, 2022). A formação de “tapetes” que cobrem a superfície da água e dificultam a sua oxigenação, alteram os padrões de navegabilidade, aumentando a eutrofização e modificando padrões hidrológicos, fazendo com que sejam necessárias medidas de prevenção e controlo que possam responder ao avanço destas populações, tais como a remoção mecânica dos mantos, principalmente quando detetados precocemente e a criação de barreiras superficiais nos rios para evitar a propagação para áreas não afetadas (aplicado só para espécies de superfície) (IPVC & BIOPOLIS, 2022).

É fundamental que se prossigam os estudos que possam completar e atualizar a informação relativamente às espécies invasoras presentes na região do Minho, bem como aos seus impactos e interação com espécies nativas e com o ecossistema, com vista ao seu controlo, à limitação da sua expansão e ao restauro dos habitats. Algumas práticas podem ser localmente implementadas no sentido de diminuir o potencial de invasão de algumas espécies, nomeadamente a maior

fiscalização da obrigatoriedade de desinfeção das embarcações, que podem ser portadoras de espécies invasoras no casco (Sampaio et al., 2014). Desta forma, a deteção precoce de espécies invasoras assume-se como urgente, sendo necessários métodos inovadores, como o DNA *metabarcoding*. Esta técnica assegura a identificação das espécies de uma forma mais precisa, rápida, rigorosa e económica, relativamente aos métodos tradicionais (i.e. análises morfológicas) (Duarte et al., 2023), podendo ser utilizada para a deteção precoce de espécies invasoras (Westfall et al., 2020). Importa destacar que algumas espécies invasoras já estão estabelecidas e têm um lugar na cadeia trófica na região do Minho (como é o caso de amêijoia-asiática), pelo que todas as medidas a considerar deverão ter em conta as relações inter-específicas, avaliando o impacto da sua presença no ecossistema, bem como o impacto da sua remoção/controlo.

6. GESTÃO E GOVERNANÇA – CONCLUSÕES

No que concerne à gestão dos ecossistemas de água doce, as recomendações visam promover a implementação de boas práticas de gestão, como ilustrado na Figura 3. Destacam-se a construção e ampliação de estações de tratamento de águas residuais (ETARs), preferencialmente equipadas com tratamento terciário, e a melhoria das infraestruturas já existentes. É também crucial estabelecer um quadro legislativo robusto que garanta a incorporação, nas ETARs, de mecanismos eficazes para a remoção de microplásticos e outros contaminantes emergentes. Propõe-se a definição de limites máximos admissíveis para a concentração de microplásticos em águas tratadas, visando a proteção da biodiversidade e da saúde pública — uma tarefa que se revela particularmente complexa (ver Brennholt et al., 2018). Adicionalmente, recomenda-se o fortalecimento da fiscalização e monitorização dos cursos de água, potencialmente através da reintrodução da carreira de *guarda-rios* ou de outras estratégias colaborativas já testadas/validadas em diferentes contextos (Wang & Chen, 2019; Herawati et al., 2024).

É necessária a implementação de incentivos financeiros aos agricultores para a concretização das melhores práticas de gestão, como sejam a inclusão de faixas de proteção para os rios nos campos agrícolas e formação para as boas práticas de conservação do solo, cuja eficácia foi demonstrada na América do Norte (Yates et al., 2007, Johengen et al., 2009).



Figura 3. Boas práticas de gestão propostas para os ecossistemas aquáticos da Região do Minho.

É essencial o envolvimento e esclarecimento das populações aquando da remoção de barreiras, sejam de pequena dimensão como açudes, sejam as de maiores dimensões (barragens), acoplado ao registo de barragens onde é possível colocar passagens para peixes, o que permitirá monitorizar as tendências populacionais piscícolas (como acontece, por exemplo, na bacia do Mondego; Monteiro *et al.*, 2023).

No que diz respeito às espécies invasoras, é imprescindível o aumento da fiscalização, a obrigatoriedade de desinfeção de embarcações, a utilização de métodos inovadores que possam

avaliar a sua presença precoce de forma rigorosa, rápida e económica (*e.g.* DNA *metabarcoding* – Pukk *et al.*, 2021), e a concretização atempada de medidas específicas para cada espécie invasora, no sentido de proceder à sua remoção, considerando todos os elementos do ecossistema e os riscos associados. Para concretizar todas as medidas elencadas é necessário o aumento do financiamento da investigação científica nas bacias hidrográficas do Minho, Lima e Cávado assegurando o envolvimento das populações e dos atores locais na gestão dos recursos hídricos, o que pode ser potenciado através da realização de ações de educação ambiental

dirigidas a escolas, jovens e associações, bem como ao público em geral, no sentido de alertar para a necessidade de proteção dos ecossistemas de água doce, enfatizando a sua importância, as ameaças a que estão sujeitos e do contributo de cada um para a conservação destes ecossistemas.

É essencial adotar uma abordagem integrada de gestão e governança para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos na região do Minho. As boas práticas de gestão apresentadas pretendem ser um contributo para a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas de água doce, promovendo um futuro sustentável para a região minhota.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi suportado pelo projeto River2Ocean (NORTE-01-0145- FEDER-000068), co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020). Cláudia Carvalho-Santos é apoiada pelo “Financiamento Programático” UIDP/04050/2020 por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, I.P.). Este trabalho tem o apoio do “contrato-programa” atribuído ao CBMA (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04050/2020>) e ao ARNET- Rede de Infraestruturas em Investigação Aquática (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0069/2020>), por fundos nacionais através da FCT, I.P.

REFERÊNCIAS

Acuna-Alonso, C.; S. Varandas; X. Álvarez; A. Martinho 2023. “Analysis of the evolution of a fisheries management plan based on environmental governance: Living laboratory in the Olo River, Portugal”. *Fisheries Research*, 260, 106595.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2022a) “Plano de Gestão de Região Hidrográfica, 3º ciclo, 2022-2027, Minho e Lima, RH1”

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2022b) “Plano de Gestão de Região Hidrográfica, 3º ciclo, 2022-2027, Cávado, Ave e Leça, RH2”

Albert, J.S.; G. Destouni; S.M. Duke-Sylvester; A.E. Magurran; T. Oberdorff; R.E. Reis; K.O. Winemiller; W.J. Ripple 2021. “Scientists’ warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis”. *Ambio*, 50(1), 85-94.

Almeida P.; B. Quintella; N. Dias 2002. “Movement of radio-tagged anadromous sea lamprey during the spawning migration in the River Mondego (Portugal)”. *Hydrobiologia*, 483, 1-8

Anastácio, P.M.; F. Ribeiro; C. Capinha; F. Banha; M. Gama; A.E. Filipe; R. Rebelo; R. Sousa 2019. “Non-native freshwater fauna in Portugal: A review”. *Science of the total environment*, 650, 1923-1934.

Andrade, N.O.; B.R. Quintella; J. Ferreira; S. Pinela; I. Póvoa; S. Pedro; P.R. Almeida 2007. “Sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) spawning migration in the Vouga river basin (Portugal): poaching impact, preferential resting sites and spawning grounds”. In *Developments in Fish Telemetry: Proceedings of the Sixth Conference on Fish Telemetry held in Europe* (121-132). Springer Netherlands.

Azeiteiro, U.M.; M.J. Pereira; A.M. Soares; H.O. Braga; F. Morgado; M.C. Sousa; J.M. Dias; C. Antunes 2021. “Dynamics of two anadromous species in a dam intersected river: analysis of two 100-year datasets”. *Fishes*, 6(2), 21.

Baglinière, J.L.; M.R. Sabatié; E. Rochard; P. Alexandrino; M.W. Aprahamian 2003. “The allis shad *Alosa alosa*: Biology, ecology, range, and status of populations”. In *American Fisheries Society Symposium*, 35, 85-102.

Berga, L. 2016. “The role of hydropower in climate change mitigation and adaptation: A review”. *Engineering*, 2, 313-318.

Birnie-Gauvin, K.; M.H. Larsen; J. Nielsen; K. Aarestrup 2017. “30 years of data reveal dramatic increase in abundance of brown trout following the removal of a small hydrodam”. *Journal of environmental management*, 204, 467-471.

Braga, H.O.; M.G. Bender; H.M. Oliveira; M.J. Pereira; U.M. Azeiteiro 2022. “Fishers’ knowledge on historical changes and conservation of Allis shad-*Alosa alosa* (Linnaeus, 1758) in Minho River, Iberian Peninsula”. *Regional Studies in Marine Science*, 49, 102094.

Caetano, M.; J. Raimundo; M. Nogueira; M. Santos; M. Mil-Homens; R. Prego; C. Vale 2016. “Defining benchmark values for nutrients under the Water Framework Directive: Application in twelve Portuguese estuaries”. *Marine Chemistry*, 185, 27-37.

Cairrao, E.; M. Couderchet; A.M.V.M. Soares; L. Guilhermino 2004. “Glutathione-S-transferase activity of *Fucus* spp. as a biomarker of environmental contamination”. *Aquatic Toxicology*, 70(4), 277-286.

Carvalho-Santos, C.; J.P. Nunes; A.T. Monteiro; L. Hein; J.P. Honrado 2016. “Assessing the effects of land cover and future climate conditions on the provision of hydrological services in a medium-sized watershed of Portugal”. *Hydrological processes*, 30(5), 720-738.

Cortes, R.M.; A. Peredo; D.P. Terêncio; L.E. Sanches Fernandes; J.P. Moura; J.J. Jesus; M.P. Magalhães; P.J. Ferreira; F.A. Pacheco 2019. “Undamming the Douro River catchment: A stepwise approach for prioritizing dam removal”. *Water*, 11(4), 693.

De Almeida, J.D.; H. Freitas 2012. “Exotic flora of continental Portugal—a new assessment”. *Bocconeia*, 24, 231-237.

e2p energias endógenas de Portugal. “Database of electrical power plants based on renewable energy sources 2017”. [<http://e2p.inegi.up.pt/>]. Acedido em 18/05/2023.

- EDP 2021. “Declaração ambiental 2021, Aproveitamentos Hidroelétricos da EDP Produção”, Direção centro de produção Cávado-Lima
- EEA 2018. “European waters – assessment of status and pressures 2018”. European Environment Agency EEA Report 7/2018.
- DRE 2023. “Dam Removal Europe”. <https://damremoval.eu>
- Duarte, S.; P.E. Vieira; B.R. Leite; M.A. Teixeira; J.M. Neto; F.O. Costa 2023. “Macrozoobenthos monitoring in Portuguese transitional waters in the scope of the water framework directive using morphology and DNA metabarcoding”. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 281, 108207.
- Fairley P. 2015. “Energy storage: Power revolution”. *Nature*, 526, 102–S104.
- Fernandes, L.S.; A.C.P. Fernandes; A.R.L. Ferreira; R.M.V. Cortes; F.A.L. Pacheco 2018. “A partial least squares–path modeling analysis for the understanding of biodiversity loss in rural and urban watersheds in Portugal”. *Science of the total environment*, 626, 1069–1085.
- Filgueiras A.V.; I. Lavilla; C. Bendicho 2004. “Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study”. *Science of the Total Environment*, 330(1–3), 115–129.
- Gavioli, A.; M. Mancini; M. Milardi; V. Aschonitis; E. Racchetti; P. Viaroli; G. Castaldelli 2018. “Exotic species, rather than low flow, negatively affect native fish in the Oglio River, Northern Italy”. *River Research and Applications*, 34(8), 887–897.
- Gravato, C.; L. Guimarães; J. Santos; M. Faria; A. Alves; L. Guilhermino 2010. “Comparative study about the effects of pollution on glass and yellow eels (*Anguilla anguilla*) from the estuaries of Minho, Lima and Douro Rivers (NW Portugal)”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(4), 524–533.
- Guilhermino, L.; A. Martins; C. Lopes; J. Raimundo; L.R. Vieira; L.G.A. Barboza; J. Costa; C. Antunes; M. Caetano; C. Vale 2021. “Microplastics in fishes from an estuary (Minho River) ending into the NE Atlantic Ocean”. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113008.
- Herawati, H.; L.I.E. Kausar; S. Arifin; I.H. Atqiya; M. Rayhan 2024. “Analysis of leadership model for participation of River Guard in the river waste management system for sustainable healthy city in Banjarmasin South Kalimantan, Indonesia”. *International Journal of Law, Environment, and Natural Resources*, 4(1), 68–75.
- Iglesias, I.; P. Avilez-Valente; A. Bio; L. Bastos 2019. “Modelling the main hydrodynamic patterns in shallow water estuaries: The Minho case study”. *Water*, 11(5), 1040.
- IPVC & BIOPOLIS 2022. “Guia de boas práticas para a gestão de espécies exóticas invasoras aquáticas: O caso do jacinto-de-água e da elódea-densa”. Projeto SINVAQUA. 32 pp.
- Johengen, T.H.; A.M. Beeton; D.W. Rice 1989. “Evaluating the effectiveness of best management practices to reduce agricultural nonpoint source pollution”. *Lake and Reservoir Management*, 5(1), 63–70.
- Konrad C.P. 2009. “Simulating the recovery of suspended sediment transport and river-bed stability in response to dam removal on the Elwha River, Washington”. *Ecological Engineering*, 35(7), 1104–1115.
- LIFE ÁGUEDA 2018. “Ações de conservação e gestão para peixes migradores na bacia hidrográfica do Vouga (LIFE16 ENV/PT/000411)” - <https://www.life-agueda.uevora.pt>
- Maceda-Veiga, A. 2012. Towards the conservation of freshwater fish: Iberian Rivers as an example of threats and management practices. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 23, 1–22.
- Magilligan, F.J.; B.E. Graber; K.H. Nislow; J.W. Chipman; C.S. Sneddon; C.A. Fox 2016. “River restoration by dam removal: Enhancing connectivity at watershed scales”. *Elementa*, 4, 108.
- Mil-Homens, M.; A.M. Costa; S. Fonseca; M.A. Trancoso; C. Lopes; R. Serrano; R. Sousa 2013. “Characterization of heavy-metal contamination in surface sediments of the Minho River Estuary by way of factor analysis. *Archives of environmental contamination and toxicology*”. 64, 617–631.
- Ministério do Ambiente 2016. “Revisão do Programa Nacional de Barragens”. República Portuguesa, Ambiente.
- MEA 2005. “Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis”. World Resources Institute, Washington, DC.
- Monteiro, R.M.; I. Domingos; P.R. Almeida; J.L. Costa; E. Pereira; A.F. Belo; T. Portela; A. Telhado; B.R. Quintella 2023. “Upstream movement of juvenile eels (*Anguilla anguilla* L.) in a southwestern European river”. *Environmental Biology of Fishes* 106, 1313–1325.
- Moreira, F.D. 2011. “Propagação de um invasor: passado, presente e futuro de *Procambarus clarkii* no Noroeste de Portugal” Tese de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Nunes, J.P., J. Seixas; N.R. Pacheco 2008. “Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds”. *Hydrological Processes* 22(16), 3115–3134.
- Oliveira M.; M. Antunes; A. Carvalho 2021. “Water Management of River Beaches—A Portuguese Case Study”. *Geosciences*, 11(4), 152.
- Pereira, J.L.; S. Pinho; A. Re; P.A. Costa; R. Costa; F. Goncalves; B.B. Castro 2016. “Biological control of the invasive Asian clam, *Corbicula fluminea*: can predators tame the beast?”. *Hydrobiologia*, 779, 209–226.
- Pukk, L.; J. Kanefsky; A.L. Heathman; E.M. Weise; L.R. Nathan; S.J. Herbst; N.M. Sard; K.T. Scribner; J.D. Robinson 2021. “eDNA metabarcoding in lakes to quantify

- influences of landscape features and human activity on aquatic invasive species prevalence and fish community diversity". *Diversity and Distributions*, 27(10), 2016-2031.
- Ramião, J.P.; C. Carvalho-Santos; R. Pinto; C. Pascoal 2022. "Modeling the effectiveness of sustainable agricultural practices in reducing sediments and nutrient export from a river basin". *Water*, 14(23), 3962.
- Ramião, J.P.; C. Carvalho-Santos; R. Pinto; C. Pascoal 2023. "Hydropower contribution to the renewable energy transition under climate change". *Water Resources Management*, 37(1), 175-191.
- Reis, P.A.; J. Cassiano; P. Veiga; M. Rubal; I. Sousa-Pinto 2014. "*Fucus spiralis* as monitoring tool of metal contamination in the northwest coast of Portugal under the European Water Framework Directives". *Environmental monitoring and assessment*, 186, 5447-5460.
- Reis, P.A.; L. Guilhermino; C. Antunes; R.G. Sousa 2014. "Assessment of the ecological quality of the Minho estuary (Northwest Iberian Peninsula) based on metal concentrations in sediments and in *Corbicula fluminea*". *Limnetica*, 33(1), 161-174.
- Rodrigues, D.C.; L. Simões; J. Mullins; S. Lampa; R.C. Mendes; C. Fernandes; R. Rebelo; M. Santos-Reis 2015. "Tracking the expansion of the American mink (*Neovison vison*) range in NW Portugal". *Biological Invasions*, 17(1), 13-22.
- Sala, O.E.; F.I.I.I. Stuart Chapin; J.J. Armesto; E. Berlow; J. Bloomfield; R. Dirzo; E. Huber-Sanwald; L.F. Huenneke; R.B. Jackson; A. Kinzig; R. Leemans 2000. "Global biodiversity scenarios for the year 2100". *Science*, 287(5459), 1770-1774.
- Sampaio, E.; I.F. Rodil 2014. "Effects of the invasive clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) on a representative macrobenthic community from two estuaries at different stages of invasion". *Limnetica*, 33(2), 249-262.
- Santos-Reis, M; A. Mira; M. Lopes-Fernandes 2023. "*Mustela putorius* toirão". In Mathias ML (coord.), Fonseca C. et al (eds.): *Livro Vermelho dos Mamíferos de Portugal Continental*. FCIências.ID, ICNF, Lisboa.
- Santos, S.; V.J. Vilar; P. Alves; R.A. Boaventura; C. Botelho 2013. "Water quality in Minho/Miño River (Portugal/Spain)". *Environmental monitoring and assessment*, 185, 3269-3281.
- Sousa R.; S.Dias; J.C. Antunes 2006. "Spatial subtidal macrobenthic distribution in relation to abiotic conditions in the Lima estuary, NW of Portugal". *Hydrobiologia*, 559, 135-148.
- Sousa, R.; S. Dias; L. Guilhermino; C. Antunes 2008. "Minho River tidal freshwater wetlands: threats to faunal biodiversity". *Aquatic Biology* 3, 237-250.
- Sousa, R.; A.J. Nogueira; M.B. Gaspar; C. Antunes; L. Guilhermino 2008b. "Growth and extremely high production of the non-indigenous invasive species *Corbicula fluminea* (Müller, 1774): possible implications for ecosystem functioning". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80(2), 289-295.
- Sousa, R.; F.E. Freitas; M. Mota; A.J. Nogueira; C. Antunes 2013. "Invasive dynamics of the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in the international section of the River Minho (NW of the Iberian Peninsula)". *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(5), 656-666.
- Taveira-Pinto, F., R. Silva; J. Pais-Barbosa 2011. "Coastal erosion along the Portuguese northwest coast due to changing sediment discharges from rivers and climate change". *Global change and baltic coastal zones*, 135-151.
- Yates, A.G.; R.C. Bailey; J.A. Schwindt 2007. "Effectiveness of best management practices in improving stream ecosystem quality". *Hydrobiologia*, 583, 331-344.
- Vié, J., C. Hilton-Taylor; S.N. Stuart 2009. "Wildlife in a changing world—an analysis of the 2008 IUCN Red List of threatened species". IUCN, Gland.
- Wang Y.; X. Chen 2019. "River chief system as a collaborative water governance approach in China". *International Journal of Water Resources Development*, 36(4), 610-630.
- Westfall, K.M.; T.W. Theriault; C.L. Abbott 2020. "A new approach to molecular biosurveillance of invasive species using DNA metabarcoding". *Global Change Biology*, 26(2), 1012-1022.
- WISE (Water Information System for Europe - Freshwater) from the European Environmental Agency. Available online at: <https://water.europa.eu/>, Acedido em 19/06/2024.